

Г.Ш. Яр-Мухамедова, Г.Т. Джаманбаева*, Б.Ж. Бисембаев
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: gulsara.jamanbayeva@mail.ru

СОЗДАНИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ

Аннотация. Последние разработки в области физики высокоиндексных резонансных диэлектрических наноструктур предлагают альтернативные механизмы управления субволновым светом, обусловленные резонансами Ми с сильным магнитным откликом, которые могут быть использованы для создания новых оптических метаповерхностей. Здесь мы демонстрируем метаповерхности на основе наноимпринтных перовскитных пленок, оптимизированных за счет легирования органической катионной части перовскитов. Мы обнаружили, что такие метаповерхности могут демонстрировать значительное усиление как линейной, так и нелинейной фотолюминесценции (до 70 раз) в сочетании с повышенной стабильностью. Наши результаты предлагают рентабельный подход, основанный на литографии наноимпринтов и объединенный с простыми химическими реакциями для создания нового поколения функциональных метаповерхностей, которые могут проложить путь к высокоэффективным планарным оптоэлектронным метаустройствам.

Ключевые слова: метаповерхность, перовскиты, фотолюминесценция, резонансы Ми, наноимпринтинг.

Введение. Метаповерхности возникли как двумерные плоские структуры, состоящие из метаатомов, которые обладают особыми электромагнитными свойствами, которые не встречаются в природе [1,2]. Ранние реализации таких планарных структур были основаны на благородных металлах и плазмонике. Однако высокие омические потери и нагрев плазмонных структур побудили многих исследователей искать альтернативные материалы [3]. Совсем недавно исследование полностью диэлектрических резонансных нанопотонных структур и метаповерхностей привлекло большое внимание, поскольку они основаны на диэлектрических метаатомах с высоким показателем преломления, которые могут обеспечить множество уникальных свойств для связи света с электрическим и магнитным резонансами Ми в видимом и ближний ИК-диапазон [4].

С другой стороны, гибридные галогенидные перовскиты недавно появились как многообещающий класс материалов для усовершенствованных оптоэлектронных устройств из-за многих преимуществ сверхдлинной диффузионной длины носителей, сильно подавленной рекомбинации носителей, низкого улавливания дефектов и примесей и высокой подвижности носителей [5,6]. Что еще более важно, гибридные органо-неорганические перовскиты могут предоставить альтернативу для рентабельного производства и системной интеграции, а также являются многообещающими для светоизлучающих диодов, усилителей или лазеров [7, 8]. В отличие от многих активных сред на основе полупроводников, настройка спектров фотолюминесценции (ФЛ) перовскитов не требует дорогостоящих методов и требует только простых химических реакций и надлежащих методов обработки пленки, таких как разработка растворителей или горячее литье.

В этой статье мы предлагаем и развиваем новую концепцию создания функциональных метаповерхностей путем создания рисунка на галогенидных перовскитах с помощью технологии наноимпринтинга, чтобы улучшить их резонансные свойства, как схематично показано на рис. 1. Мы используем экономичную и крупномасштабную литографию с наноимпринтом, последовательное тиснение методом горячего прессования для нанесения наноразмерного перовскита, пленки с покрытием, как недавно было продемонстрировано для других приложений [9]. Что еще более важно, мы наносим оптимизированный состав тонких пленок перовскита путем легирования органической катионной части перовскитов, разработка состава тройного сплава смешанного

катиона в $\text{Cs}_{0,5}(\text{MA}_{0,17}\text{FA}_{0,83})_{0,95}\text{Pb}(\text{I}_{0,83}\text{Br}_{0,17})_3$ демонстрируя рекордные фотоэлектрические характеристики и повышенную стабильность. [10]. Как мы продемонстрируем ниже, этот подход использования тройного катионного сплава для перовскитной пленки, позволяет избежать деградации наноимпринтных метаповерхностей и добиться рекордного увеличения ФЛ. В результате мы предлагаем двухэтапный подход для достижения высокоэффективных излучающих ультратонких планарных структур, которых эффективность излучения повышается сначала за счет конструкции из тонкопленочного материала (на атомном уровне), а затем за счет формирования пленок (на уровне метаатомов). Наши результаты открывают путь к новым экономичным полностью диэлектрическим активным планарным метаустройствам.

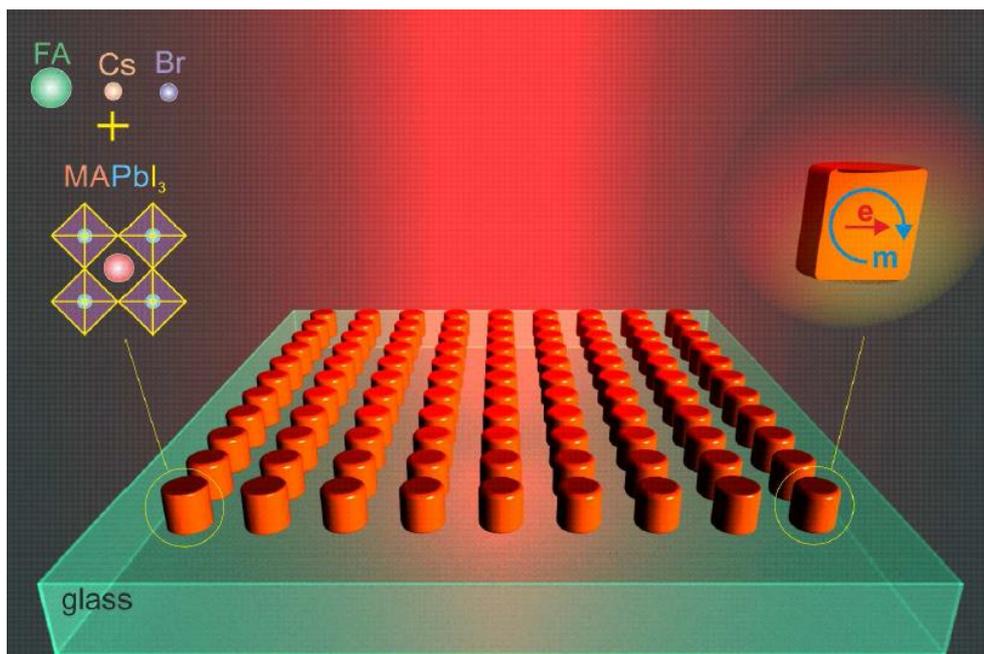


Рисунок 1. Общая концепция. Метаповерхности с улучшенными функциональными возможностями, достигаемыми за счет структурирования перовскитных пленок, оптимизируются путем легирования органических катионов для повышения стабильности

Характеристика метаповерхностей перовскита. Для нанесения тонких пленок перовскита используется модифицированный метод инженерии растворителей [11]. Этот метод использует смесь растворителей перовскита для нанесения покрытия центрифугированием, а затем следует капельное нанесение толуола во время центрифугирования, которое позволяет формировать однородный слой перовскита после термического отжига. Для наших метаповерхностей мы используем плавный кварц для подложек толщиной 0,5 мм. После центрифугирования и капания толуола образец отжигают в течение 10 мин при 100°C , который впоследствии вытесняет растворители и образует перовскитную пленку толщиной около 200 нм.

Образцы используются позже для процесса наноимпринтинга [9], как показано на рис. 2. Мы используем две разные силиконовые формы для сравнения свойств двух различных типов отпечатанных метаповерхностей. Наноструктуры и нанополоски сначала обрабатываются антиадгезионным монослоем из 1Н, 1Н, 2Н, 2Н перфтордецилтрихлорсилана. Затем формы помещают на тонкую пленку перовскита в разные области в одном процессе, чтобы обеспечить одинаковые условия для всех форм. Наноимпринтинг проводится 20 мин при 100°C и давление 7 МПа. Также готовятся контрольные образцы с пленками неструктурированного перовскита, нанесенными методом центрифугирования.

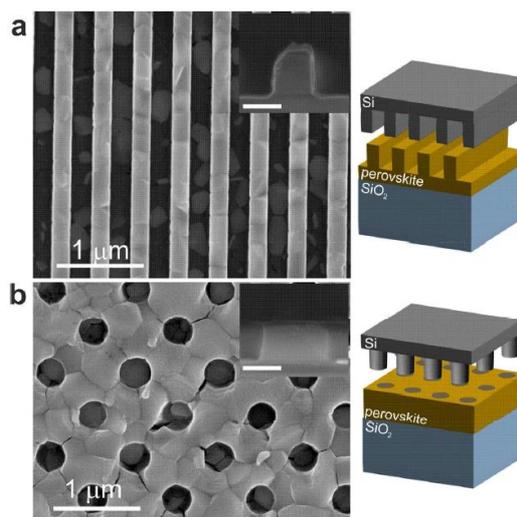


Рисунок 2. Наноимпринтные метаповерхности перовскита. Изображения на растровом электронном микроскопе структуры нанополос (а) и нанотверстий (б). На вставках показаны поперечные сечения метаповерхностей (шкала 300 нм) и пресс-форм, использованных при изготовлении

В более ранних исследованиях перовскитовых фотоприемников [9] наноимпринтинг классических MAPbI_3 , которые, как известно, являются не очень устойчивым материалом в окружающей атмосфере. В самом деле точно установлено, что MAPbI_3 особенно легко разлагается под воздействием тепла, влажности, света, металлических электродов, а не ИТО, Cu и Au . Однако смешивание катионов FA/Cs и анионов Br/Cl приводит к стабилизации пленок. ABX_3 структура перовскитов позволяет замещать катион место A и галогенид-анион место X , сохраняя при этом катион место B как Pb . Совсем недавно цезий (Cs), катионы формамидиния (FA) и этиламмония (EA) были заменены вместо катиона метиламмония (MA), чтобы сформировать более стабильные структуры и настроить ширину запрещенной зоны [12-19]. Поэтому в настоящей работе мы применяем процедуру наноимпринтинга к тройным катионным сплавам перовскитов с целью изучения эффектов усиления ФЛ в наноимпринтных метаповерхностях наиболее стабильных составов со смешанными катионами Cs , MA и FA . Смешивание этих ионов с образованием сплавов в общей форме $\text{Cs}_\alpha\text{FA}_\beta\text{MA}_\gamma\text{Pb}(\text{I}_x\text{Br}_y)_3$, где $\alpha+\beta+\gamma=1=x+y$, позволяет получить наиболее стабильную композицию, а также добиться настраиваемой ширины запрещенной зоны. Здесь мы сосредоточены на одной стабильной композиции: $\text{Cs}_{0,05}\text{FA}_{0,82}\text{MA}_{0,13}\text{Pb}(\text{I}_{0,87}\text{Br}_{0,13})_3$ с излучением ФЛ в диапазоне 770 нм. Сравниваем стабильность нашего сплава с MAPbI_3 при эксплуатации в аналогичных условиях в течение 3000 ч и выявить сильную деградацию MAPbI_3 , тогда как $\text{Cs}_{0,05}\text{FA}_{0,82}\text{MA}_{0,13}\text{Pb}(\text{I}_{0,87}\text{Br}_{0,13})_3$ хорошо сохраняет превосходные свойства ФЛ. Морфология наноимпринтных пленок исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и представлена на рис. 2 (а, б). Хорошо выраженные нанополоски перовскита [рис. 2 (а)] и нанотверстия [рис. 2 (б)] структуры являются отрицательными копиями силиконовых форм. Нанотверстия и нанополосы имеют диаметр и период рисунка примерно 300 нм и 600 нм соответственно. Поперечное сечение СЭМ показывает глубину 315 нм при почти полном отсутствии остаточного слоя для нанотверстий и глубину структуры 300 нм и глубину остаточного слоя 85 нм для нанополос. Эти результаты демонстрируют, что, хотя перовскит является ионным твердым телом и не имеет свойств стеклования, как полимеры, он может быть успешно сформирован методами наноимпринтинга, будучи достаточно мягким, чтобы деформироваться и заполнять полости формы под воздействием тепла и давления. Улучшение кристалличности и качества поверхности за счет наноимпринтинга также выявляется с помощью сканирующей электронной микроскопии. Это важно для транспорта носителей, времени жизни фотолюминесценции и эффективности солнечных элементов [14,15].

Оптические свойства. Спектры отражения для пленок перовскита без рисунка и с рисунком показывают значительные модуляции для структур с нанотверстиями и нанополосками [см. рис. 3 (а, б)]. Более конкретно, мы наблюдаем пики около 1000-1100 нм, которые соответствуют возбуждению оптических резонансов. При пропускании оптические изображения перовскитов показывают разные яркие цвета [рис. 3 (с)], что свидетельствует о разнородности.

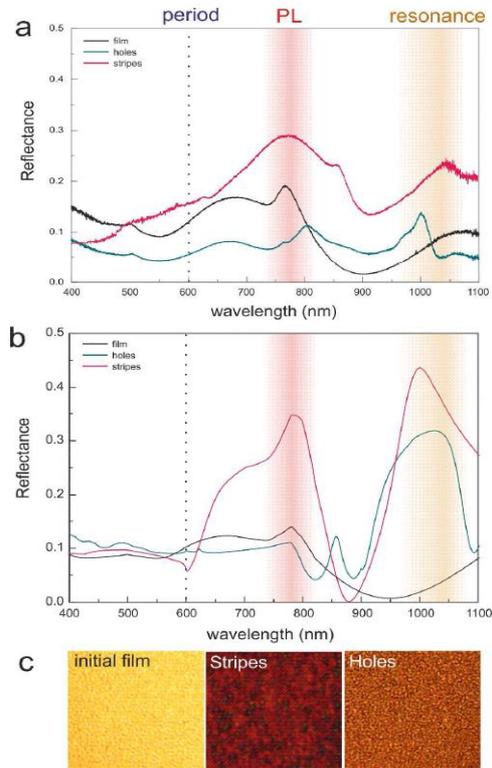


Рисунок 3. Отражательные и пропускающие свойства метаповерхностей перовскита. (а) экспериментальные данные и (б) результаты численных расчетов спектров отражения пленок перовскита (черная кривая) и метаповерхностей, созданных нанотверстиями (зеленая кривая) и нанополосками (розовая кривая). (с) Свойства пропускания: оптические изображения поверхностей перовскитов с различным рисунком

Моделирование ближних полей на разных частотах показывает резонансное поведение метаповерхностей на основе нанополос в ближнем ИК-диапазоне частот, тогда как в области высоких потерь ($\lambda < 800$ нм) резонансы не проявляются из-за сильного затухания.

Повышение фотолюминесценции. Помимо высокого показателя преломления перовскита, этот материал демонстрирует высокоэффективную ФЛ на 770 нм (1,6 эВ) с полной шириной на полувысоте около 40 нм [рис. 4 (а)]. Следовательно, можно усилить ФЛ за счет возбуждения оптических мод в излучающем материале. Можно выделить две конкретные области: линейное фотовозбуждение (поглощается один фотон, т. е. высоко оптические потери на частоте накачки) и нелинейное фотовозбуждение (многофотонное поглощение, т. е. низкий оптические потери на частоте накачки).

В экспериментах по линейному фотовозбуждению перовскиты с наноимпринтом демонстрируют лучшие свойства спонтанного излучения с увеличением до 2 раз для нанополос при определенной поляризации и до 8 раз для нанотверстий по сравнению с тонкими пленками с наноимпринтом [Рис. 4 (б)]. Как показано на рис. 4 (а), эти факторы усиления могут быть частично объяснены увеличением поглощения света из-за нанозначения. Однако увеличение количества поглощенных фотонов не может полностью описать усиление

ФЛ, что требует дополнительного анализа зависимости скорости излучения от локальной плотности состояний (LDOS).

Спад ФЛ регистрируется с помощью метода коррелированного по времени однофотонного счета (подробнее см. Методы). Измеренное среднее время жизни увеличивается для отпечатанных нанополос ($\tau_{\text{нп}} \approx 24,5$ нс), но уменьшается для отпечатанных нанотверстий ($\tau_{\text{но}} \approx 17,8$ нс) по сравнению с тонким перовскитом пленка ($\tau_{\text{п}} \approx 20,4$ нс). Эти времена отражают как внутренние изменения материала (например, диффузионную длину носителей), так и влияние резонансов (например, фактор Парселла). С одной стороны, нанопринтинг приводит к увеличению среднего размера зерна перовскита и, как следствие, увеличение времени жизни носителей заряда, что приводит к увеличению затухания ФЛ до 1,5 раз [9]. С другой стороны, эффект Парселла для излучения диполей в резонаторе с более высокой LDOS приводит к ускорению спонтанного излучения. Таким образом, принимая во внимание влияние размера зерна, мы можем приблизительно оценить, что фактор Парселла, усредненный по всему спектру излучения, составляет около 2 для нанотверстий, тогда как он близок к 1 для нанополос. Это качественно согласуется с расчетными зонными фотонными структурами, где спектр ФЛ охватывает гораздо больше состояний с высокой LDOS для нанотверстий, чем для нанополос. Фактор Парселла и поглощение объясняют более высокий сигнал ФЛ для нанотверстий по сравнению с нанополосками.

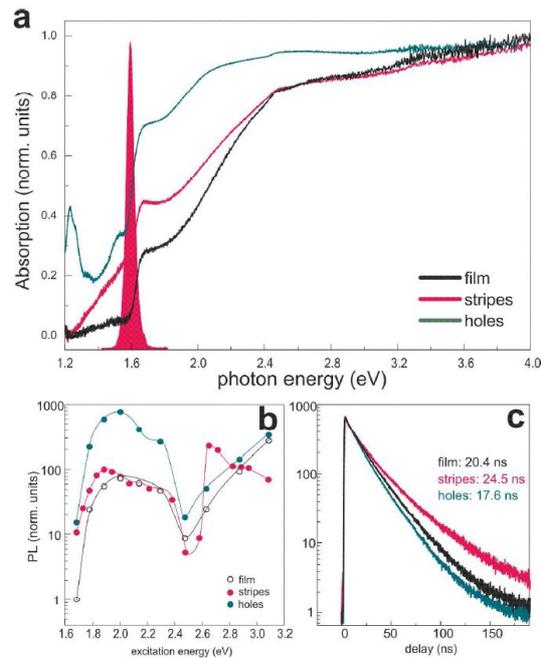


Рисунок 4. Однофотонная фотолюминесценция. (а) Измеренные спектры поглощения перовскитовой пленки (черный) и двух метаповерхностей с нанопринтом (зеленый и розовый). Закрашенная область соответствует спектру ФЛ перовскита. (б) Зависимость усиления ФЛ от энергии возбуждающего фотона. (в) Измерения ФЛ с временным разрешением для трех типов перовскитных пленок

Чтобы изучить эффекты оптических резонансов в отдельных элементах нанополос и нанотверстий, мы проводим измерения многофотонной ФЛ (МФЛ) на длине волны $\lambda = 1050$ нм (1,18 эВ), обнаруживая более сильную зависимость сигнала ФЛ от конструкции метаповерхностей по сравнению с однофотонной фотовозбуждением. Следует подчеркнуть, что длина волны fs-лазера значительно больше как периодов, так и размеров «метаатомов» отпечатанных наноструктур, что исключает какие-либо эффекты дифракции даже в кремнеземных подложках.

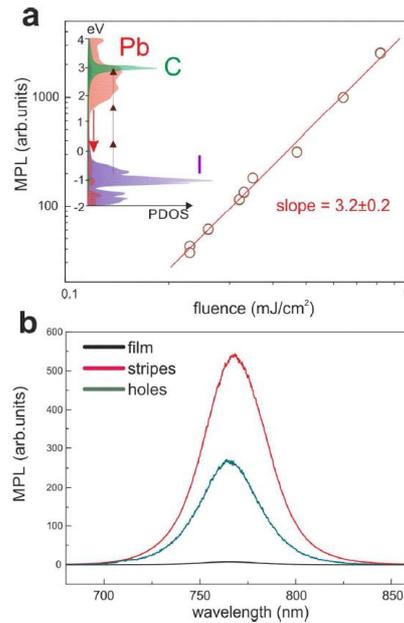


Рисунок 5. Многофотонная фотолюминесценция. (а) Зависимость выхода МФЛ от средней мощности фемтосекундных лазерных импульсов ($\lambda = 1050$ нм, $\tau = 150$ фс). На вставке: схема поглощения и излучения фотонов в нелинейном режиме с парциальной плотностью состояний основных компонентов перовскита. (б) Сравнение спектров МФЛ от разных типов метаповерхностей

Трехфотонный характер излучаемого сигнала ФЛ подтверждается наклоном третьего порядка зависимости сигнала МФЛ от интенсивности fs -лазера [рис. 5 (а)]. Как показано на вставке к рис. 5а (заимствовано из [16]), происхождение эффективного трехфотонного поглощения фотонов 1,18 эВ может быть проанализировано с точки зрения парциальной плотности состояний (PDOS), где три пика от Pb, I и C делают переходы в 3-4 эВ гораздо более вероятными, чем в <3 эВ. Более того, недавние эксперименты по нестационарной спектроскопии перовскита ясно выявили новый резонанс в фотопросветлении при 3,2 эВ в классическом перовските MAPbI_3 , которое связывают с оптическим переходом во вторую зону проводимости. Поскольку наша пленка перовскита с нанопринтом имеет 13% легирования Вг, мы можем ожидать, что положение этой второй зоны проводимости в нашем тройном катионном сплаве будет немного выше, то есть при $\sim 3,4-3,5$ эВ, что совпадает с энергией нашей 3-фотонной накачки с фотоны 1,18 эВ. Этот вывод подтверждается нашими линейными измерениями [рис. 4 (б)], где ФЛ от перовскитовой пленки более интенсивна при энергиях фотонов выше 2.8 эВ. Примечательно то, что спектры однофотонного и трехфотонного излучения смещены относительно друг друга, как это наблюдалось ранее в других исследованиях МФЛ перовскитов [17].

Мы полагаем, что причиной более сильного усиления МФЛ является зависимость трехфотонной ФЛ исследуемых перовскитов от локального усиления электрического поля внутри материала. Действительно, при многофотонном фотовозбуждении линейные потери очень малы, что позволяет возбуждать резонансы с относительно высокими Q- факторами, тогда как высокое поглощение наблюдается только в горячих точках. Такое резонансное многофотонное возбуждение дает 70-кратное усиление МФЛ, тогда как другая поляризация обеспечивает в 30 раз меньший сигнал из-за отсутствия резонансного отклика от метаповерхности [рис. 5 (б)].

Выводы. В заключение мы предложили новый подход к созданию крупномасштабных метаповерхностей перовскита для видимого и ближнего ИК-диапазонов со значительно улучшенными свойствами ФЛ. Показано, что интенсивность ФЛ может быть увеличена до 8 раз при однофотонном фотовозбуждении и до 70 раз при трехфотонном фотовозбуждении. Мы обнаружили, что усиление достигается за счет возбуждения резонансных мод Ми и

эффекта Перселла. Защита перовскитов с рисунком от их разрушения была достигнута за счет специальной подготовки материала, обеспечивающей стабильные метаповерхности в течение более 3000 часов в окружающей среде без инкапсуляции. Результаты показывают, что перовскиты - это уникальные материалы, позволяющие экономичный наноимпринтинг для крупномасштабного изготовления метаповерхностей с высоким показателем преломления, которые могут использоваться для разработки оптимизированных планарных метаустройств для высокоэффективных светодиодов, лазеров и усилителей.

Признательность

Данная работа выполнена в рамках проекта AP08855457 «Разработка инновационной технологии получения нанокристаллических композиционных покрытий для электродов топливных элементов и водородной энергетики» КазНУ им. аль-Фараби, Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] N. Yu and F. Capasso. *Flat optics with designer metasurfaces*. Nature Materials 13, 139-150 (2014).
- [2] S. Glybovski, S.A. Tretyakov, P.A. Belov, Y.S. Kivshar, and C.R. Simovski, *Metasurfaces: From microwaves to visible*, Physics Reports 634, 1-72 (2016)
- [3] A. Boltasseva and H.A. Atwater. *Low-loss plasmonic metamaterials*, Science 331, 290-291 (2011).
- [4] A.I. Kuznetsov, A.E. Miroshnichenko, M.L. Brongersma, Y.S. Kivshar, and B. Lukyanchuk, *Optically resonant dielectric nanostructures*, Science 354, aag2472 (2016).
- [5] B.R. Sutherland and E.H. Sargent, *Perovskite photonic sources*, Nature Photonics 10, 295-302 (2016).
- [6] Y. Chen, H.T. Yi, X. Wu, R. Haroldson, Y.N. Gartstein, Y.I. Rodionov, K.S. Tikhonov, A. Zakhidov, X.Y. Zhu, and V. Podzorov, *Extended carrier lifetimes and diffusion in hybrid perovskites revealed by Hall effect and photoconductivity measurements*, Nature Communications 7, 12253 (2016).
- [7] Z.K. Tan, R.S. Moghaddam, M.L. Lai, P. Docampo, R. Higler, F. Deschler, M. Price, A. Sadhanala, L.M. Pazos, D. Credgington, F. Hanusch, T. Bein, H.J. Snaith, and R.H. Friend, *Bright light-emitting diodes based on organometal halide perovskite*, Nature Nanotechnology 9, 687-692 (2014)
- [8] H. Zhu, Y. Fu, F. Meng, X. Wu, Z. Gong, Q. Ding, M.V. Gustafsson, M.T. Trinh, S. Jin, and X.Y. Zhu, *Lead halide perovskite nanowire lasers with low lasing thresholds and high quality factors*, Nature Materials 14, 636-642 (2015).
- [9] H. Wang, R. Haroldson, B. Balachandran, A. Zakhidov, S. Sohal, Y.X. Ren, J.Y. Chan, A. Zakhidov, and W. Hu, *Nanoimprinted perovskite nanonanostructure photodetector with improved efficiency*, ACS Nano (2016)
- [10] M. Saliba, T. Matsui, K. Domanski, J.Y. Seo, A. Ummadisingu, S.M. Zakeeruddin, J.P. Correa-Baena, W.R. Tress, A. Abate, A. Hagfeldt, and M. Gratzel, *Incorporation of rubidium cations into perovskite solar cells improves photovoltaic performance*, Science 354, 206-209 (2016).
- [11] Jeon, N. J.; Noh, J. H.; Kim, Y. C.; Yang, W. S.; Ryu, S.; Seok, S. I., *Solvent engineering for high-performance inorganic-organic hybrid perovskite solar cells*, Nature Materials 13, 897-903 (2014).
- [12] Z. Yang, C. Chueh, P. Liang, M. Crump, F. Lin, Z. Zhu, and A. Jen, *Effects of formamidinium and bromide ion substitution in methylammonium lead triiodide toward high-performance perovskite solar cells*, Nano Energy 22, 328-337 (2016).
- [13] R. Beal, D. Sotcavage, T. Leijtens, A. Bowring, R. Belisle, W. Nguyen, G. Burkhard, E. Hoke, and M. McGehee, *Cesium Lead Halide Perovskites with Improved Stability for Tandem Solar Cells*, J. Phys. Chem. Lett. 7, 746-751 (2016)

- [14] D.W. de Quilettes, S.M. Vorpahl, S.D. Stranks, H. Nagaoka, G.E. Eperon, M.E. Ziffer, H.J. Snaith, and D.S. Ginger, *Impact of microstructure on local carrier lifetime in perovskite solar cells*, Science 348, 683-686 (2015).
- [15] Xiao, J.; Yang, Y.; Xu, X.; Shi, J.; Zhu, L.; Lv, S.; Wu, H.; Luo, Y.; Li, D.; and Meng, Q., *Pressure-assisted CH₃NH₃PbI₃ morphology reconstruction to improve the high performance of perovskite solar cells*. Journal of Materials Chemistry A 3, 5289-5293 (2015).
- [16] M.R. Shcherbakov, D.N. Neshev, B. Hopkins, A.S. Shorokhov, I. Staude, E.V. Melik-Gaykazyan, M. Decker, A.A. Ezhov, A.E. Miroschnichenko, I. Brener, and Y.S. Kivshar, *Enhanced third-harmonic generation in silicon nanoparticles driven by magnetic resonances*, Nano Letters 14, 6488-6492 (2014).
- [17] P.A. Dmitriev, D.G. Baranov, V.A. Milichko, S.V. Makarov, I.S. Mukhin, A.K. Samusev, A.E. Krasnok, P.A. Belov, and Y.S. Kivshar, *Resonant Raman scattering from silicon nanoparticles enhanced by magnetic response*, Nanoscale 8, 9721-9726 (2016).
- [18] R. Camacho, M. Rahmani, S. Kruk, L. Wang, L. Xu, D. Smirnova, A. Solntsev, A. Miroschnichenko, H.H. Tan, F. Karouta, S. Naureen, K. Vora, L. Carletti, C. De Angelis, C. Jagadish, Y.S. Kivshar, and D.N. Neshev, *Nonlinear generation of vector beams from AlGaAs nanoantennas*, Nano Letters (2016) DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b03525
- [19] M. Kato, T. Fujiseki, T. Miyadera, T. Sugita, S. Fujimoto, M. Tamakoshi, M. Chikamatsu, and H. Fujiwara, *Universal rules for the visible-light absorption in hybrid perovskite materials*, arXiv: 1605.05124 (2016).

Г.Ш. Яр-Мухамедова, Г.Т. Джаманбаева*, Б.Ж. Бисембаев
 әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
 *e-mail: gulsara.jamanbayeva@mail.ru

ГИБРИДТІ ПЕРОВСКИТТЕР НЕГІЗІНДЕ МЕТАБЕТТЕРДІ ҚҰРУ

Андатпа. Жоғары индексті резонанстық диэлектрлік наноқұрылымдар физикасы саласындағы соңғы әзірлемелер жаңа оптикалық метабеттерді жасау үшін қолдануға болатын күшті магниттік реакциясы бар Ми резонанстарына байланысты субтолқын жарығын басқарудың балама механизмдерін ұсынады. Мұнда біз перовскиттердің органикалық катиондық бөлігін легірілеу арқылы оңтайландырылған наноимпринтингтелген перовскит пленкаларына негізделген метабеттерін көрсетеміз. Біз мұндай метабеттер тұрақтылығының жоғарылауымен бірге сызықтық және сызықты емес фотолюминесценцияның (70 есеге дейін) айтарлықтай өсуін көрсете алатындығын анықтадық. Біздің нәтижелеріміз наноимпринттердің литографиясына негізделген және қарапайым химиялық реакциялармен біріктірілген тиімді әдісті ұсынады, бұл жоғары тиімді планарлы оптоэлектрондық метақұрылымдарға жол ашуы мүмкін функционалды метабетінің жаңа буынын құру.

Негізгі сөздер: метабеттер, перовскит, фотолюминесценция, Ми резонанстары, наноимпринтинг.

G.Sh. Yar-Mukhamedova, G.T. Jamanbayeva*, B.J. Bisembayev
 al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
 *e-mail: gulsara.jamanbayeva@mail.ru

CREATING METASURFACES BASED ON HYBRID PEROVSKITES

Abstract. Recent developments in the physics of high-index resonant dielectric nanostructures suggest alternative mechanisms for subwavelength light control driven by Mie resonances with strong magnetic response that can be employed for a design of novel optical metasurfaces. Here we demonstrate metasurfaces based on nanoimprinted perovskite films optimized by alloying the organic cation part of perovskites. We reveal that such metasurfaces can exhibit a significant enhancement of both linear and nonlinear photoluminescence (up to 70 times) combined with advanced stability. Our results suggest a cost-effective approach based on nanoimprint lithography and combined with simple chemical reactions for creating a new generation of functional metasurfaces which may pave a way towards highly efficient planar optoelectronic metadevices.

Keywords: metasurface, perovskites, photoluminescence, Mie resonances, nanoimprinting.